L'amplificateur suiveur (AOP)

A travers cette fiche d'activité de **TD**, vous allez réaliser sous la solution de simulation **Ltspice** un **amplificateur suiveur** à base d'un **AOP (amplificateur opérationnel).** Pour cela, nous avons choisi la référence **LM741** comme composant pour cette réalisation, le simuler et ensuite analyser son comportement afin de retrouver la valeur caractéristique de ce circuit ; son gain d'amplification ***A***.

Un petit rappel ?
Un **amplificateur opérationnel**, appelé aussi **AOP** ou **A-OP**, est un **composant électronique** à base de semi-conducteur. Ce composant actif nous permet de réaliser plusieurs fonctions de traitement de signal électrique telles que l'amplification, réaliser des opérations mathématiques, le filtrage, etc.

Réalisation d'un amplificateur suiveur à base d'un LM741

En se référant à notre cours, nous allons réaliser un **amplificateur suiveur** à base d'un **amplificateur opérationnel (AOP)** sous la solution de simulation électronique **Ltspice**. Pour cela, le schéma ci-dessous nous détaille le montage à réaliser sous notre application de simulation :

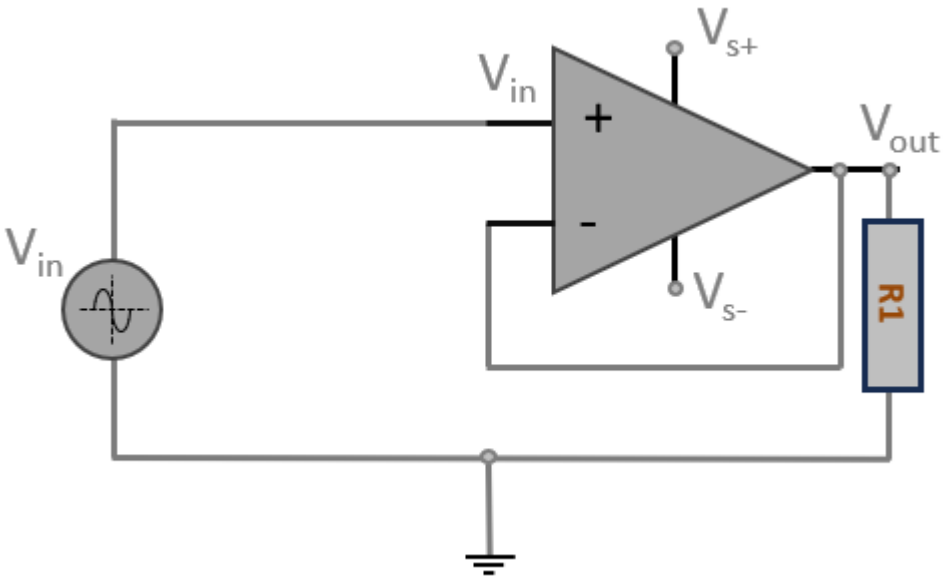
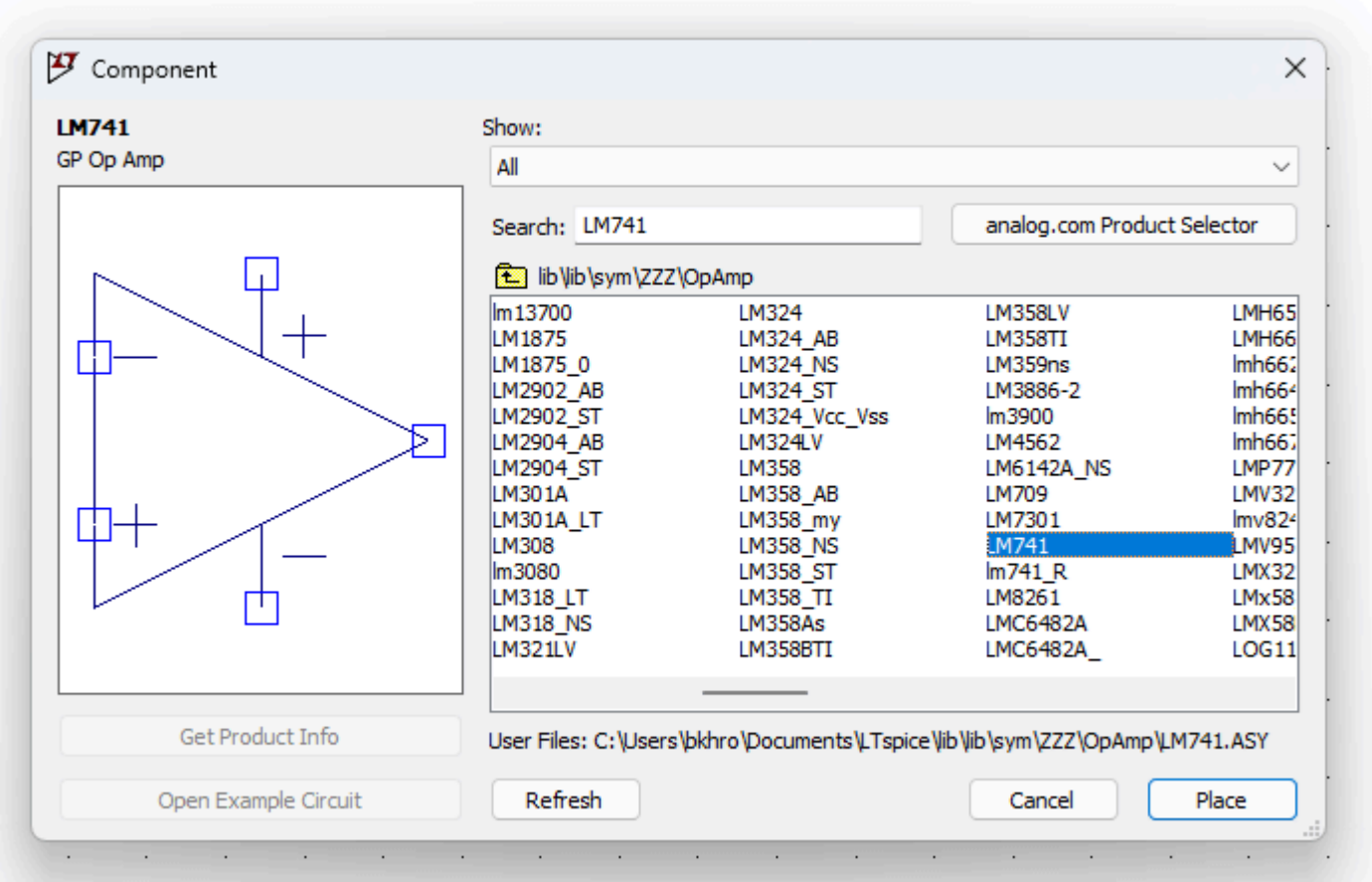


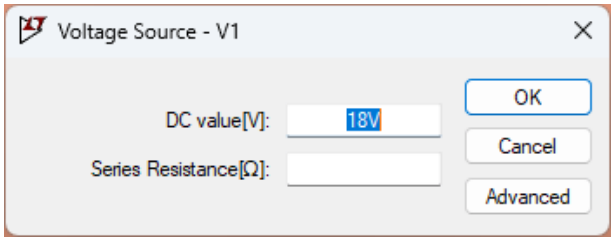
Schéma du amplificateur suiveur à base d'un AOP LM741

Pour pouvoir mesurer le signal à la sortie de notre amplificateur, nous allons mettre une charge de valeur **100Ω** sous **Ltspice**, comme nous le démontre le schéma ci-dessous modélisée par la résistance R_1

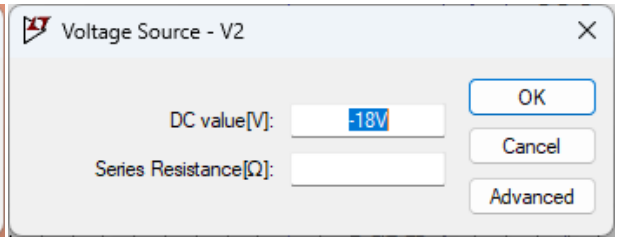
Placez ensuite pour notre amplificateur opérationnel la référence **LM741**. Pour cela, appuyez sur la touche **P**, la fenêtre **Component** (composant en français) s'affiche, cherchez la référence **LM741** à partir de la barre recherche. La capture ci-dessous vous montre cela :



Comme tout composant actif, une source d'alimentation est requise pour le faire fonctionner. Pour cela, allons utiliser deux sources d'alimentation symétrique de valeur **+18V** et **-18V** que nous allons cela sous **Ltspice :** deux sources d'alimentation $\mathbf{V_1}$ et $\mathbf{V_2}$ que nous allons configurer respectivement à **+18V** et **-18V**, comme nous le démontre les deux images ci-dessous :

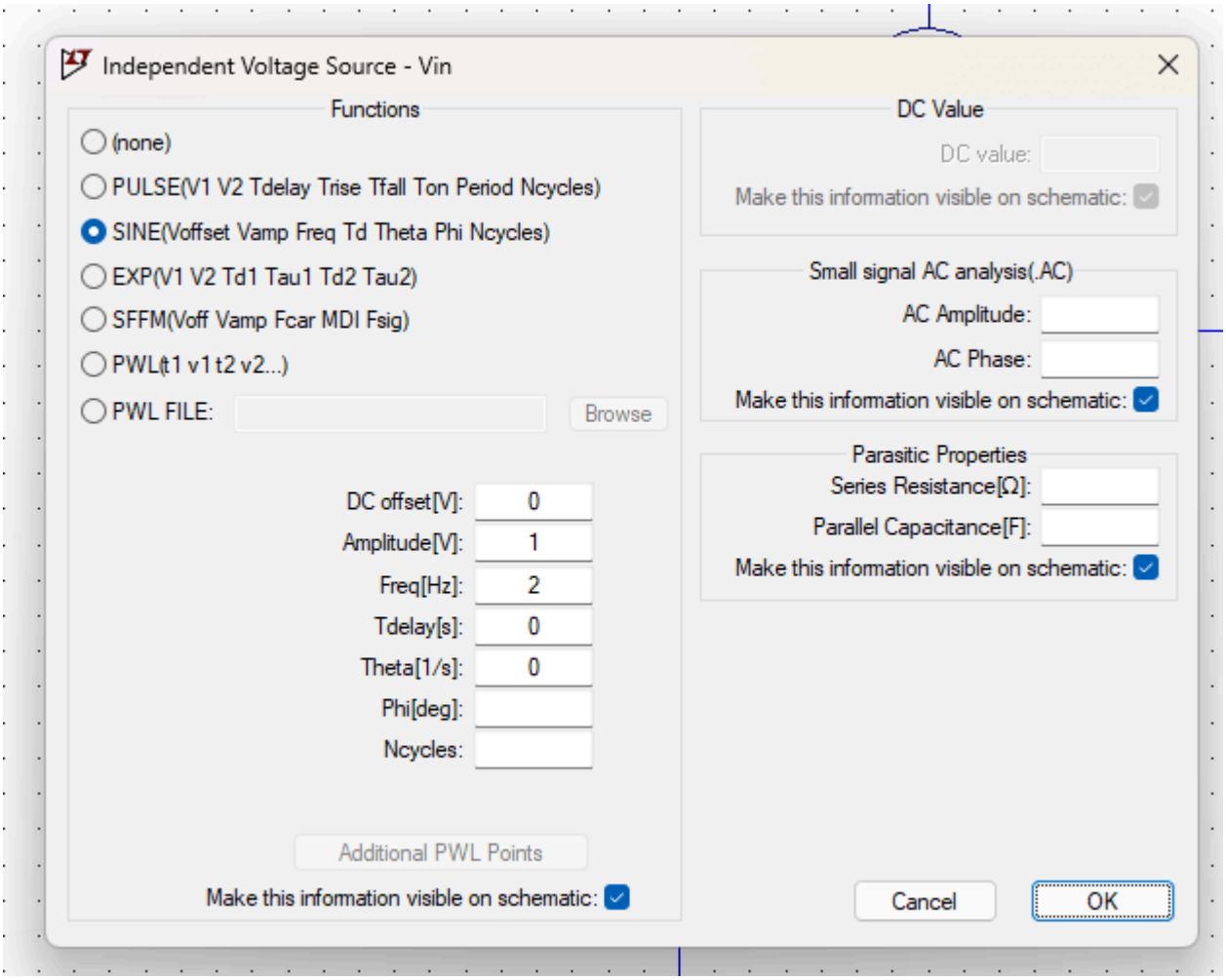


Configuration de **VS+** pour l'AOP

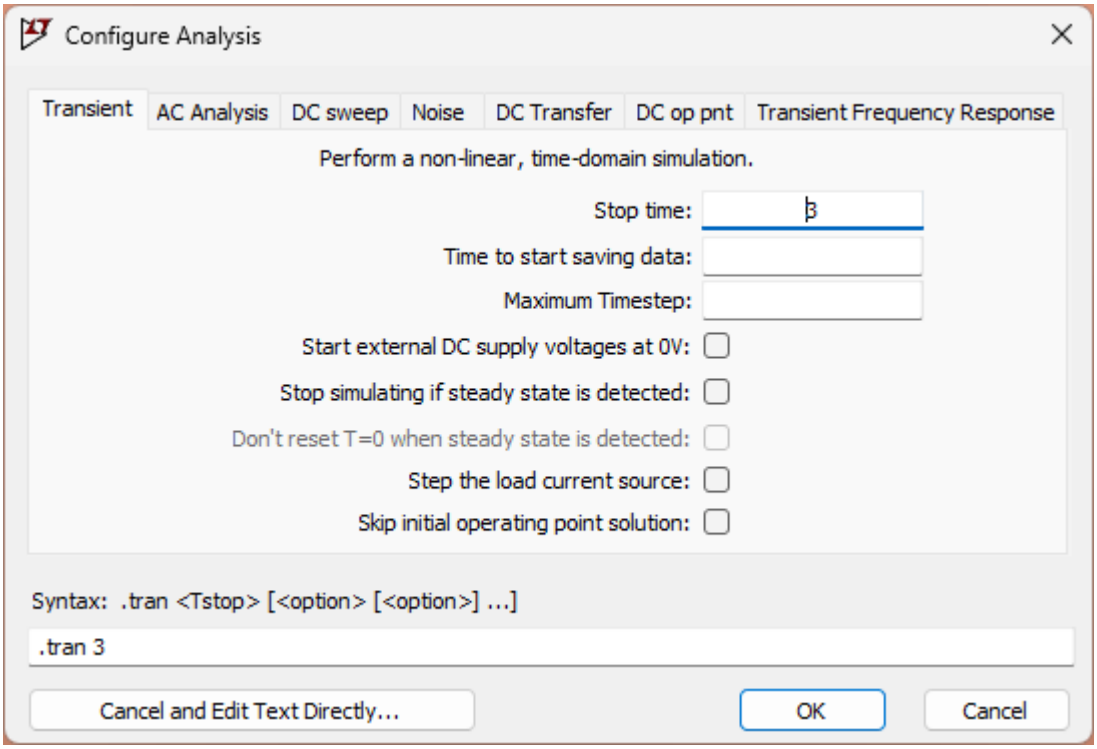


Configuration de **VS-** pour l'AOP

Maintenant, pour créer un signal variable que nous allons l'injecter à l'entrée $\mathbf{V_{in}}$ à notre amplificateur opérationnel (soit l'entrée VS+ de notre AOP), nous allons modéliser une source supplémentaire $\mathbf{V_3}$ soit un générateur d'un **signal alternatif** ayant une amplitude de **1V** et une fréquence de **2 Hz** sans ajouter aucun délai supplémentaire (le paramètre Tdelay sous Ltpsice) . La capture ci-dessous nous détaille les différentes valeurs à saisir pour configurer ce générateur :



Et finalement, une fois le tout est correctement configuré, vous pouvez demander à l'application de lancer le calcul en choisissant le mode **Transient** dans la fenêtre **Configure Analysis** sous **Ltspice** et en configurant le **stop time** à **3 secondes** ; soit donc la durée totale du calcul est de 3 secondes comme nous le démontre la capture ci-dessous :



Dès que le calcul est terminé, vous pouvez ajouter les deux courbes $\mathbf{V_{in}}$ et $\mathbf{V_{out}}$ dans deux graphes différents (soit deux plots différents sous Ltpsice). Que pouvons-nous constater ?

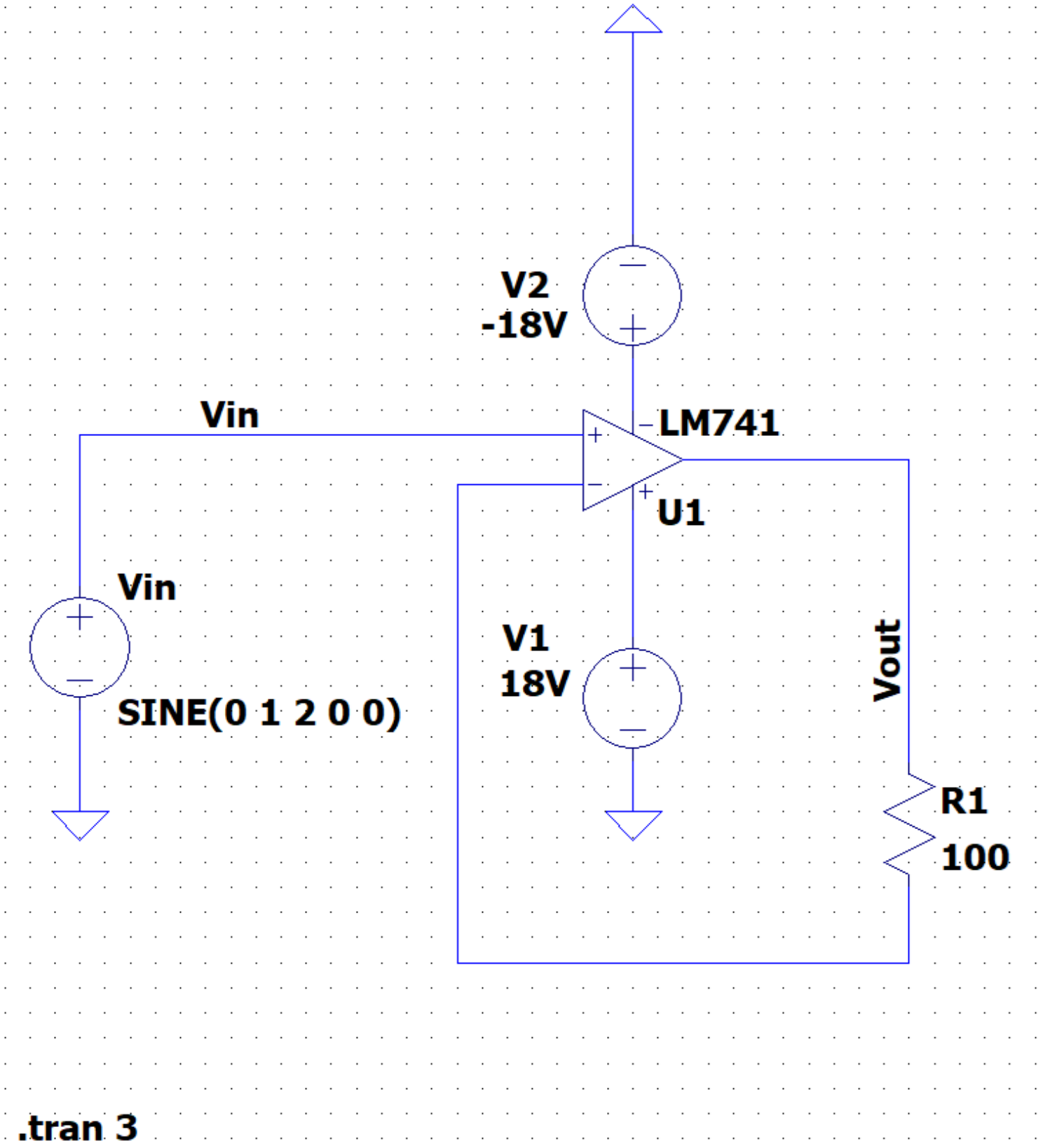
A partir de ces deux graphes, lisez les différentes valeurs ci-dessous à partir des deux courbes $\mathbf{V_{in}}$ et $\mathbf{V_{out}}$ **(**à partir de la valeur la plus proche à la valeur indiquée ci-dessous dans le tableau) :

$\mathbf{V_{in}}$	$\mathbf{V_{out}}$	$\mathbf{V_{out}}$ / $\mathbf{V_{in}}$
0V		
0.5V		
1V		
-0.5V		
-1.V		

Déterminez maintenant le facteur ***A*** d'amplification de votre circuit LM741. Que pouvons-nous conclure ?

Simulation, analyse et interprétation : Amplificateur opérationnel suiveur

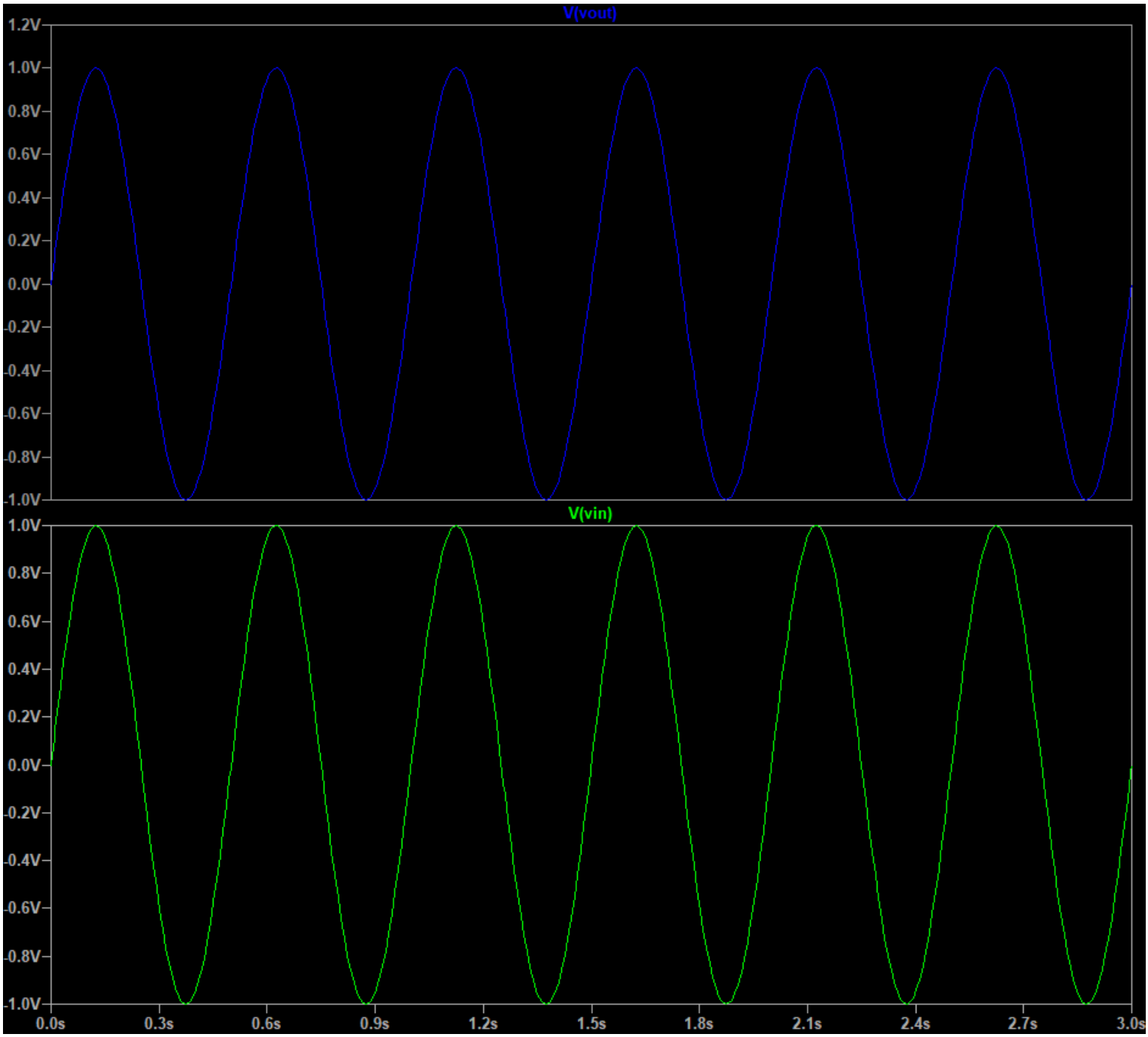
En se basant sur le schéma proposé dans l'énoncé de cette fiche, et en respectant les consignes pour modéliser les sources d'alimentations **VS+** et **VS-** ainsi que la source $\mathbf{V_{in}}$ pour modéliser un signal variable, soit dans notre cas un **courant alternatif** ayant une **fréquence** de 2 **Hz** et une **amplitude** de **1V.** Notre projet sous Ltspice sera ainsi comme suit :



Comme vous pouvez le constater, nous avons aussi configuré sous la solution Ltpsice les deux composants tels que :

R_1 = 100Ω,
et le circuit intégré du AOP à la référence **LM741**.

Une fois que tout est configuré sous Ltspice, nous pouvons initier les calcul de notre simulation à partir du raccourci clavier en appuyant simultanément les deux touches **Alt** et **R** ou via le menu principal **Simulate,** ensuite **Run**. Une fois que la solution termine son calcul, vous pouvez ajouter une par une les deux variables $\mathbf{V_{in}}$ et $\mathbf{V_{out}}$ dans dans deux graphes différentes comme vous le détaille l'image ci-dessous :

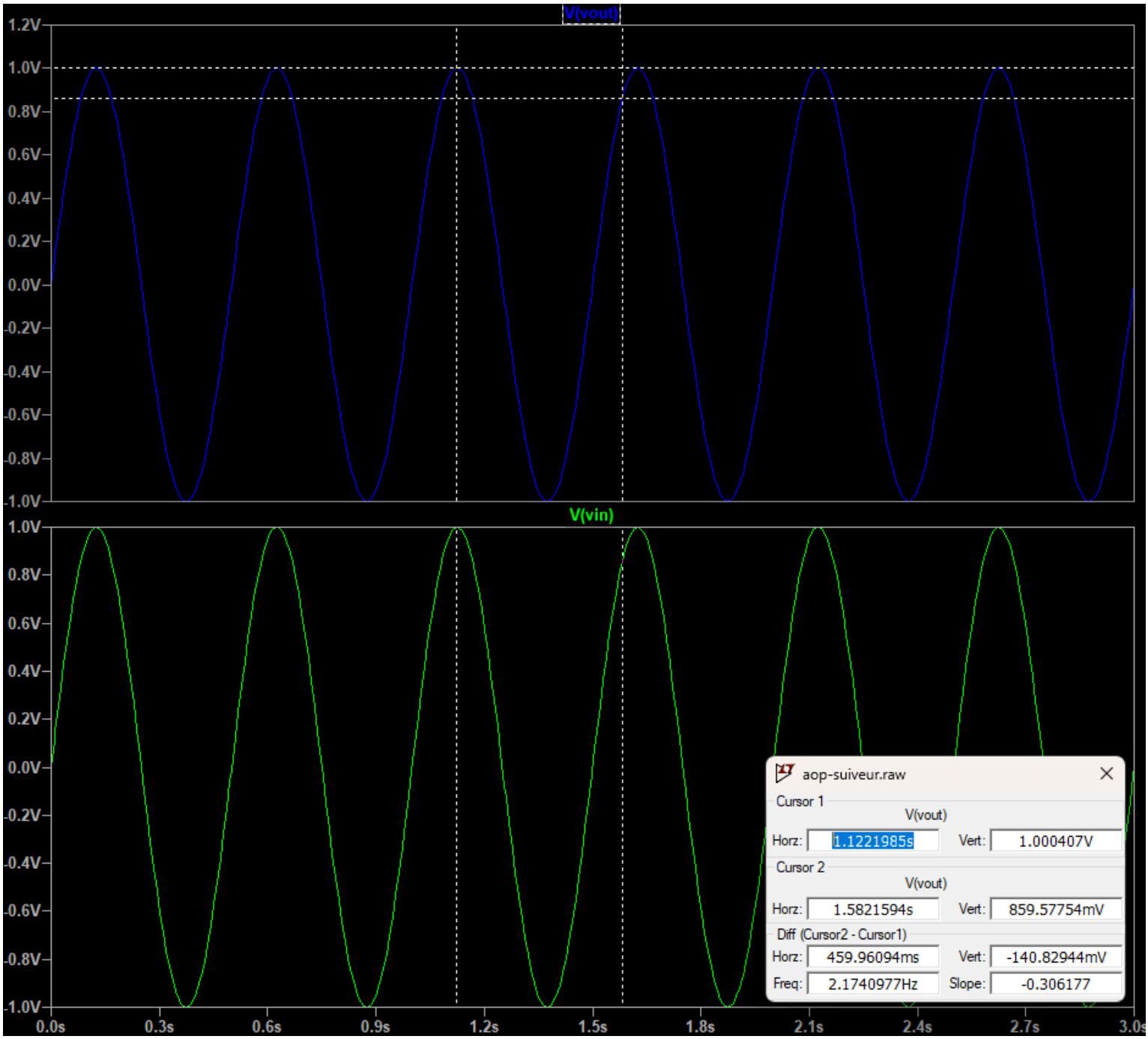


Analysons maintenant ces 2 courbes en détail. Nous constatons donc :

- Le signal $\mathbf{V_{out}}$ présente une amplitude **iso** à l'amplitude du signal à l'entrée $\mathbf{V_{in}}$. Donc, nous pouvons dire que notre système transfère le signal fourni à l'identique à son entrée $\mathbf{V_{in}}$.
- Le signal $\mathbf{V_{out}}$ à la sortie suit la même phase que le signal $\mathbf{V_{in}}$. Donc, nous pouvons conclure que les deux signaux sont toujours en phase.
- Les deux signaux présentent la même fréquence donc \(V_{out} = V_{in} = 2 Hz \)

Nous pouvons donc conclure que ce système n'amplifie pas le signal reçu à son entrée **V(+)** de notre amplificateur **sans inversion de phase**.

Maintenant, en utilisant le curseur et en sélectionnant une par une les deux courbes $\mathbf{V_{in}}$ **et** $\mathbf{V_{in}}$, nous pouvons lire les différentes valeurs demandées une par une. Par exemple, pour la valeur Vin = 1.000417V ≅ 1.0V, nous lisons Vout = 999.38029mV ≅ 1.0V. L'image ci-dessous nous démontre comment utiliser deux courbes pour lire deux courbes simultanément sous Ltpsice :



Pour ajouter une première trace, appelée aussi courbe, il est très simple sous Ltspice. Vous devez tout simplement cliquer sur le fil demandé dans votre montage et la courbe sera automatiquement affichée dans la fenêtre des graphes. Dans notre cas, nous aurons à ajouter dans cette fenêtre la courbe de la tension **V(vin)**. Puis, si vous souhaitez lire les valeurs de cette courbe, il vous suffit de cliquer sur le nom de la trace qui s'affiche juste au-dessus de cette courbe.

Maintenant, pour ajouter la deuxième trace ou courbe, il est recommandé dans cette activité de l'ajouter dans un plot séparé. Pour cela, cliquez par le bouton droit sur la fenêtre des traces et choisissez **Add Traces**. Si vous souhaitez utiliser les raccourcis, utilisez sur la touche **A** directement depuis votre clavier.

Comment lire deux courbes simultanément sous Ltspice ?

Pour lire deux courbes simultanément sous Ltspice, dans la même fenêtre de lecture, après avoir ajouté la première trace, ajoutez la deuxième trace puis cliquez deux fois sur le nom de la courbe souhaitée pour la sélectionner. Pour déplacer le premier curseur de la première courbe ou le deuxième de la deuxième courbe vers la position souhaitée, sélectionnez l'une

des deux traces et ensuite utiliser les deux flèches gauche (←) et droite (→) pour faire déplacer le curseur à la position ou la valeur de la courbe demandée.

Ainsi, valeur par valeur, nous pouvons remplir le tableau ci-dessous comme suit :

V_{in} demané	V_{in} (lu depuis la courbe sous ltspice)	V_{out}	$A = V_{out} / V_{in}$
0V	0 V	0 V	impo
0.5V	515.48094mV ≅ 0.515V	516.50327mV ≅ 0.516V	1.001 ≅ 1
1.0V	989.41112mV ≅ 0.989V	1.000417V ≅ 1.00V	1.011 ≅ 1
-0.5V	-536.35508mV ≅ -0.536V	-535.35765mV ≅ -0.535V	0.998 ≅ 1
-1.0V	-992.67501mV ≅ -0.992V	-998.95954mV ≅ -0.998V	1.006 ≅ 1

En conclusion, comme nous pouvons dire que ce système n'amplifie pas le signal reçu à son entrée mais le transmet à l'identique à sa sortie. Ce qui permet de réaliser un système qui sépare le circuit à l'entrée du circuit à sa sortie. Ce système d'amplificateur opérationnel, appelé amplificateur suiveur, présente donc un gain d'amplification ***A = 1***.

Le projets Ltspice

Vous pouvez télécharger directement l'ensemble des fichiers de cette présente activité au format projet **LTspice** à partir de notre espace **GitHub** :

- **https://github.com/ElectroRobot/amplificateur-operationnel-AOP**

Nous vous partageons également les fichiers **.lib** et **.asy** du composant **LM741** requis pour le bon fonctionnement du simulateur **Ltspice**.

Plus d'activités avec les amplificateurs opérationnels ?

Pour mieux vous faire familiariser avec ce composant actif, nous vous proposons de découvrir d'autres activités que nous proposons portant sur les amplificateurs opérationnels (AOP) :

- **L'amplificateur non-inverseur** (Amplificateur opérationnel ; AOP)
- **L'amplificateur inverseur** (Amplificateur opérationnel ; AOP)

Electro-Robot </> 2024-2026, la solution complète pour apprendre l'électronique, la programmation et la robotique.